

ния и для улучшения качества реакций действия в тренировках и в спортивных состязаниях. Работа дает обзор наиболее часто используемых в спорте ПРМ и показывает возможности и границы применения в спортивных тренировках и непосредственно при подготовках к спортивным соревнованиям. Воздействие ПРМ в зависимости от поставленных задач проводится аутосуггестивно, суггестивно или в сочетании обеих форм.

Summary

Psychoregulatory methods are psychological training and exercise forms, the targeted application of which permits to exert, within a certain functional range, a limited voluntary bearing on, and control of, vegetative functions and psycho-vegetative and psychic processes, due to a psychic influence via the highest level of integration in the brain. The importance of these effects to the creation of a psychophysics condition which is optimal with regard to efficiency and to an improvement in quality of the control of actions during training and competition is outlined. The present paper gives a survey of those psychoregulatory methods which are most often used in sports, and it indicates their possible applications as well as their limitations in the training and immediately prior to competitions. Depending upon the respective purpose, the psychoregulatory methods are based on autosuggestion or heterosuggestion or a combination of both of them.

Literatur

1. Beyer, L., H. Schumann und L. Pickenhain: Die Anwendung der Frequenzanalyse des EEG zur Charakterisierung unterschiedlicher psychischer Zustände. *Z. Psychol.* **184** (1976), 526 bis 569. — 2. Dogs, W.: Konzentrative Entspannungstherapie. Walter Braun, Duisburg 1973. — 3. Eitner, G.: Regulative Musikeinwirkung und Ergebnisse erster Untersuchungen zur Beschleunigung der Wiederherstellung nach hohen Trainingsbelastungen. Diplomarbeit DHfK, Leipzig 1976. — 4. Frester, R.: Erste Erfahrungen bei der Anwendung der ATP im Sport. *Theorie u. Praxis Körperkultur* **17** (1968), 1. — 5. Ders.: Aktivtherapie im Sport. Beiträge zur Sportpsychologie. Bd. 1. Sportverlag, Berlin 1972. — 6. Ders.: Ideomotorisches Training im Sport — ein Beitrag zur Trainingsintensivierung und Erhöhung der Wettkampfstabilität bei Sportlern der technischen und Schnellkraftsportarten. In: Kunath, P. u. a.: Beiträge zur Sportpsychologie. Bd. 2. Sportverlag, Berlin 1974. — 7. Genova, E.: Die Veränderungen einiger psychischer Funktionen unter dem Einfluß des autogenen Trainings bei Leichtathleten. Fragen der Psychotherapie in der allg. Medizin, Charkow 1968. — 8. Gissen, L. D.: Psychologie und Psychohygiene im Sport. *Theorie u. Praxis Körperkultur* **22** (1973), Beiheft 2. — 9.

Harrer, G.: Grundlagen der Musiktherapie und Musikpsychologie. S. 282. VEB Gustav Fischer, Jena 1975. — 10. Jackson, I.: Yoga und der Sportler. World publications, Mountain view 1975. — 11. Kemmler, R.: Psychologisches Wettkampfttraining. BLV-Verlagsgesellschaft, München 1973. — 12. Leirich, J.: Untersuchungen über Bewegungsvorstellungen und ihre Relevanz für die Optimierung des motorischen Lernens im Gerätturnen. *Theorie u. Praxis Körperkultur* **19** (1970), 553–556. — 13. Kohler, Chr.: Kommunikative Psychotherapie. VEB Gustav Fischer, Jena 1968. — 14. Kohler, M., und R. Frester: Polygraphische Untersuchungen physiologischer Vorgänge während der Aktivtherapie bei Leistungssportlern. *Theorie u. Praxis Körperkultur* **17** (1968), 12. — 15. Kunath, P. u. a.: Beiträge zur Sportpsychologie. Bd. 2. Sportverlag, Berlin 1974. — 16. Lindemann, H.: Überleben im Streß (Autogenes Training). Bertelsmann Ratgeberverlag, München — Gütersloh 1974. — 17. Luthe, W.: Das Autogene Training — correlationae psychosomaticae. Georg Thieme, Stuttgart 1965. — 18. Nagykáldi, C.: A sportolok pszichologiai felkészütsenek módszerei. (Methoden der psychologischen Vorbereitung der Sportler.) A sport es Testnevelés Időszéri Keresedei, Budapest (1971), 79–103. — 19. Puni, A. Z.: Über die Trainingseinwirkung der Bewegungsvorstellung. *Theorie u. Praxis Körperkultur* **7** (1958), 12. — 20. Rechenberger, H. G.: Über die Technik zu individueller Gestaltung formelhafter Vorsatzbildung im autogenen Training. Praxis der Psychotherapie, München (1962), 7. — 21. Riggenbach, E.: Ist Yoga auch ein Sport? *Körpererziehung* **25** (1975), 186–187. — 22. Rohr, L.: Nachweis psychoregulativer Effekte mit Hilfe der Herzfrequenz. Diplomarbeit KMU, Leipzig 1977. — 23. Schultz, I. H., und W. Luthe: Formelhafte Vorsatzbildungen. *Acta psychologica*, Basel (1962), 10. — 24. Schultz, I. H.: Das autogene Training. Georg Thieme, Stuttgart 1964. — 25. Schwabe, Chr.: Musiktherapie bei Neurosen und funktionellen Störungen. VEB Gustav Fischer, Jena 1974. — 26. Totescu, A.: Antrenamentul psihotonic. (Das psychotonische Training). Educ. fiz. si sport, Bucuresti **20** (1967), 1. — 27. Ulrich, E. (Hrsg.): Beiträge zum mentalen Training. In: Schriftenreihe „Training und Beanspruchung“, Bd. 3. Limpert, Frankfurt (Main) 1973. — 28. Winter, E. M. de: Maitrise psychotonique, Relaxation. In: Encyclopedie Medico — Chirurgicale, Paris 1965. — 29. Volkamer, M.: Bewegungsvorstellung und mentales Training. In: Schriftenreihe zur Praxis der Leibeserziehung und des Sports. Bd. 66. Karl Hofmann, Schorndorf 1972.

Manuskripteingang: 16. Januar 1980

Anschrift des Verfassers: Dipl.-Psych. Dr. paed. R. Frester, Forschungsinstitut für Körperkultur und Sport, DDR - 7010 Leipzig, Friedrich-Ludwig-Jahn-Allee 59

Med. u. Sport 20 (1980), H. 10

Aus dem Institut Freizeit- und Erholungssport (Direktor: Dr. U. Krüger) der Deutschen Hochschule für Körperkultur, Leipzig

Die physiologischen Auswirkungen einer schweißbedingten Dehydration

Von S. ISRAEL

Zusammenfassung

Für den Menschen als Warmblüter ist die Einhaltung eines relativ kleinen Spielraumes seiner Körperkerntemperatur von vitaler Bedeutung. Bei intensiver motorischer Ausdauerbeanspruchung kommt es zu einer erheblichen Thermogenese, die zu einem Anstieg der Körperkerntemperatur auf mehr als 40 °C führen kann. Unter derartigen Bedingungen ist die Schweißverdunstung der wichtigste Mechanismus der Wärmeabgabe. Auf diesem Wege treten bei extensiven Belastungen Flüssigkeitsverluste des Organismus bis zu 5 l ein. Hochgradige Dehydrationszustände lösen eine Reihe organischer Reaktionen aus, die die Leistungsfähigkeit mehr oder weniger beeinträchtigen. Die Kompartimente des Körpers sind ungleichmäßig vom Flüssigkeitsverlust betroffen; die aktive Muskulatur wird in hohem Maße dehydriert. Die Auswirkungen

der Dehydration auf das Plasmavolumen hängen von der Art der Anforderungen und vom Trainingszustand ab; während Untrainierte bei Extensibelastungen zu einer Plasmakontraktion neigen, tritt bei Trainierten eher eine Expansion ein. Es kommt zu einem Einstrom von Protein in den intravasalen Raum. Da der Schweiß hypoton (niederosmolar) gegenüber dem Plasma ist, tritt eine Störung des hydro-salinen Gleichgewichts auf; die Konsequenzen dieses Befundes, die auch für die Flüssigkeits- und Elektrolytsubstitution stichhaltig sind, werden dargelegt. Weitere Ausführungen zur Dehydrationsproblematik beziehen sich auf Reaktionen einzelner Organsysteme, auf Veränderungen körperlicher Fähigkeiten sowie auf Fragen der Geschlechts- und Altersspezifität.

Sachwörter: Körperkerntemperatur; Wärmehaushalt.

Bei der Erarbeitung und praktischen Erprobung PRV lassen sich im Sport Entwicklungstendenzen in den letzten zehn Jahren beobachten:

— Während in den 60er bis Anfang der 70er Jahre vorwiegend Verfahren zur Anwendung kamen, die eine *allgemeine* Erholung, Entspannung, Wiederherstellung und psychische Ruhigstellung bewirken sollten (Autogenes Training nach *Schultz*; psychotonisches Training nach *de Winter*; progressive Relaxation nach *Jacobson*; Desensibilisierung bzw. Desensitivierung nach *Volpe*; *It* nach *Puni*, u. a.), so wurden in der Folgezeit PRV entwickelt und erprobt, mit deren Hilfe Entspannungseffekte und darauf aufbauend gleichzeitig allgemeine und spezifische psychophysiologische Aktivierungseffekte ausgelöst werden konnten (Aktivtherapie, ideomotorisches Training, psychomuskuläres Training, regulative Musikeinwirkung u. a.).

— Gleichzeitig mit dieser Entwicklung fand eine zunehmende Adaptation psychotherapeutischer Verfahren für die Lösung *spezifischer* sportpraktischer Probleme statt bzw. wurden neue PRV entwickelt, die der Lösung *sportartspezifischer* psychologischer Fragen mehr gerecht werden sollten (Autogenes Training mit formelhaften Vorsätzen; Autogenes Training in Verbindung mit ideomotorischem Training; psychomuskuläres Training). Im Vordergrund der Einflußnahme stehen jetzt Fragen der Dämpfung inadäquater und Aktivierung emotional-affektiver Erregungsprozesse zur Optimierung des Vorstartzustandes und zur Bewältigung hoher koordinativer Anforderungen im Training; Verbesserung der Orientierungsgrundlage (Bewegungsvorstellung, konzentrierte Einstellung) beim Erlernen und Stabilisieren ausgewählter motorischer Abläufe insbesondere in technischen und zyklischen Sportarten; Beschleunigung von Wiederherstellungs- und Erholungsprozessen (partielle muskuläre und Ganzkörperentspannung in Abhängigkeit vom Inhalt der Vorbelastung), gezielte Aktivierung des aktuellen Zustands bei psychovegetativen Störungen und der Bekräftigung positiver Einstellungen und Verhaltensweisen gegenüber dem sportlichen Gegner, den Wettkampfbedingungen und zu sich selbst im Sinne der Erhöhung des Selbstvertrauens und der Durchsetzungsfähigkeit. Der Einsatz und die Auswahl PRV erfolgte dementsprechend zunehmend aufgabenbezogen in Ableitung von den sportlichen Hauptanforderungen im Jahresverlauf.

Ausgehend von der Vielfalt der bereits im Sport genutzten und bekannten PRV soll im Rahmen dieses Beitrages nicht auf praktische Übungs- und Versuchsdurchführungen eingegangen werden. Informationen dazu sind den Literaturquellen zu entnehmen. Auf einige allgemeingültige Anwendungsprinzipien sei jedoch noch verwiesen:

— Experimentelle und empirische Erfahrungen besagen, daß bei der Anwendung aller PRV ein mehrmaliges kurzzeitiges Üben (etwa im Abstand von 15–20 min) hintereinander zu schnelleren und dauerhafteren Übungserfolgen führt als eine zeitliche Ausdehnung einer Übungseinheit und große (mehrtägige) Pausen zwischen den Übungssitzungen.

— Günstigere Übungseffekte sind in der Lernphase in Gruppen von etwa 8–12 Sportlern gegenüber Einzelversuchen zu erzielen (positive sozialpsychologische Gruppeneffekte).

— Der altersgerechte Einsatz verschiedener PRV ist für den Übungserfolg in unterschiedlichen Altersgruppen von Bedeutung. Die Übungsprogramme für Altersbereiche von etwa 10–15 Jahren sind inhaltlich anders (kindgemäßer) zu gestalten als etwa ab 16 Jahre. Dies trifft sowohl für die verbale als auch für die nonverbale Beein-

Tabelle 3 Musikstücke mit positiver Wertung

	jüngere	ältere	Zeit/min.	männl.	weibl.
1. Toselliserenade	+	+	3,10	+	+
2. Melodie/Rubinstein		+	4,10	+	+
3. Poem/Zdeněk Fibich		+	3,20		
4. Elisabethserenade					
Fassung A	+		2,30	+	+
Fassung B	+	+	3,15	+	+
5. Mondscheinsonate/ Beethoven (moderne Bearbeitung von James Last)	+	+	4,20	+	+
6. Plaisir d'amour	+	+	3,05	+	+
7. Der Schwan	+	+	2,15	+	+
8. Opernball/Heuberger		+	3,05	+	+
9. Träumerei	+	+	2,05	+	+
10. Cavalleria rusticana (Zwischenspiel)		+	3,05	+	+
11. Klavierkonzert Es-Dur Beethoven		+	7,50	+	+

flussung zu. Hierfür ein Beispiel für die Wahl der Musikstücke bei der regulativen Musikeinwirkung.

PRV werden im Sport erst dann voll wirksam, wenn sie im Prozeß der Erziehung und sportlichen Ausbildung wie jedes andere Trainingsmittel behandelt werden, d. h., aufgaben- und anforderungsbezogen im Prozeß der Erziehung und sportlichen Ausbildung integriert sind. So gesehen sind sie *keine* zusätzlichen Mittel und Methoden (im Sinne eines psychischen „Täters“), die neben dem Trainingsprozeß stehen, sondern wie physioprophyktische und -therapeutische Methoden notwendige Bestandteile des Trainings zur Verbesserung und Erhöhung der psychischen Leistungsbereitschaft und -fähigkeit. Daß durch gezielte Einwirkung mit psychischen Mitteln gleichzeitig physiologische Abläufe verändert werden können, unterstreicht die Bedeutung der PRV für den Sport.

4. Schlußbemerkungen

Die theoretischen und praktischen Grundlagen für eine systematische und breite Anwendung PRV im Sport sind insgesamt unzureichend entwickelt. Zu häufig werden noch in der Sportpraxis kritiklos PRV aus der Klinik übernommen und angewandt.

Beim Einsatz aller PRV im Sport ist in erster Linie immer davon auszugehen, daß die Leistungsfähigkeit gesunder Menschen bei hohen Leistungsanforderungen verbessert werden soll und nicht die Behandlung und Normalisierung psychopathologischer Störungen im Mittelpunkt der Beeinflussung steht. Das schließt jedoch nicht aus, daß beim Einsatz PRV im Sport individuelle Persönlichkeitsmerkmale zu beachten sind.

Bei Mißerfolgen, die durch eine unsachgemäße Anwendung PRV hervorgerufen werden, wird zu oft das Verfahren vorzeitig verworfen. Erst die volle Identifikation mit der anzustrebenden Zielstellung und ein systematisches, langfristiges Üben sowie eine genaue Einhaltung der Übungsinstruktionen und -bestimmungen führt zu dauerhaften Übungserfolgen. Dabei ist von Vorteil, wenn der behandelnde Arzt oder Psychologe die Technik PRV selbst beherrscht und die angezielten Effekte an sich selbst auslösen kann.

Im vorliegenden Beitrag wurde bewußt auf eine Kennzeichnung praktischer Versuchsabläufe und auf die Darstellung von Methoden zur Kennzeichnung von Effekten PRV verzichtet. Informationen dazu können den Literaturquellen entnommen werden.

Резюме

Психорегуляторный метод (ППМ) является психологической формой тренировок и упражнений, при целевом применении которых можно оказывать произвольное влияние и регулировать вегетативные функции и психовегетативные и психические процессы через психическое воздействие на высочайшем интеграционном уровне мозга в пределах определенной функциональной области. Схематично представлено значение этих возможностей для создания оптимального психофизического функционального состоя-

Sport und Wärmeregulation.

Der Mensch ist ein Warmblüter. Er ist auf die Konstanz seiner Körperkerntemperatur angewiesen. Diese weicht mit ihrem Sollwert um 37 °C zumeist wesentlich von der Umgebungstemperatur ab. Die Körperkerntemperatur des Menschen verfügt nur über eine geringe Toleranz. Die Einhaltung eines relativ kleinen Spielraumes ist von vitaler Wichtigkeit.

Sport bedeutet u. a. auch Thermogenese. Unter intensiver Ausdauerbelastung kommt es zu einem Mißverhältnis von Wärmebildung und Wärmeabgabe; dabei wird mehr Wärme produziert als abgegeben. Bereits 1903 beschrieben *Blake* und *Larrabee* Körperkerntemperaturen von mehr als 40 °C, die bei kühlem Wetter nach einem Marathonlauf bei Sportlern in gutem körperlichem Zustand angetroffen wurden. In Einzelfällen wurden Temperaturen über 42 °C gemessen; *Bierbaum*, *Mellerowicz* u. a. (1972) fanden 42,3 °C nach einem 20-km-Lauf, eigene Messungen ergaben 42,3 °C nach einem 100-km-Mannschaftsrennen im Radsport, und *Gilat* u. a. (1963) stellten 42,4 °C nach einem 31-km-Gepäckmarsch fest.

Körperkerntemperaturen um 40 °C führen beim gesunden Sportler zu keinerlei Komplikationen. Die extreme belastungsinduzierte Hyperthermie stellt aber ohne Frage einen leistungslimitierenden Faktor dar.

Sport ist in der Regel Arbeit im physikalischen Sinne. Dabei wird Energie aus chemischen Reaktionen bereitgestellt. Solche Reaktionen sind exotherm. Jede Energiewandlung auf dieser Basis ist mit einer Wärmebildung, also mit einer Wärmefreisetzung im Körper verbunden. Analoge Vorgänge existieren auch in der Technik. Auch dort gibt es bei vergleichbaren Reaktionen einen Wärmeausstoß.

Der Nutzeffekt der Muskeltätigkeit des Menschen beträgt im günstigsten Fall 30 %. Die Größe des Nutzeffekts wird als thermischer Wirkungsgrad der Energietransformation bezeichnet. Die gegebene Situation besagt, daß mindestens 70 % der transformierten Energie in Wärme und höchstens 30 % in mechanische Energie umgewandelt werden. Die Wärme ist damit ein bemerkenswertes Begleitprodukt der Energietransformation; der arbeitende Muskel erzeugt einen erheblichen Wärmebetrag.

Ein Marathonlauf z. B. erfordert etwa 12 500 kJ (~ 3 000 kcal). Das bedeutet, daß über 8 500 kJ (~ 2 000 kcal) als Wärme entstehen, die vom Organismus abgegeben werden müssen. Eine langanhaltende körperliche Anstrengung ist die größte Hitzebelastung, die vom Organismus aus reguliert werden muß.

Die Wärmeabgabe.

Die Wärme kann energetisch im Organismus nicht genutzt werden. Sie muß, wenn sie im Überschuß auftritt, gespeichert oder über physikalische Vorgänge der Entwärmung abgegeben werden. Die Körpertemperatur ist unter Belastung in wesentlichen Zügen ein Kennwert der Wärme-Abtransportfunktion. Zahlreiche Regulationen schützen die Körpergewebe vor Überhitzung. Es werden als Gegenreaktion bei Abweichungen vom Sollwert effektorische Maßnahmen im Sinne von Abwehrvorgängen aktiviert, die den Wärmeaustausch mit der Umwelt ermöglichen.

Die Beseitigung der Abwärme aus dem Organismus erfolgt über die Mechanismen der Leitung (Konduktion), des Transports (Konvektion), der Strahlung (Radiation) sowie der Schweißverdunstung (Evaporation). Von diesen Möglichkeiten der Wärmeabgabe tritt beim Sport die Schweißverdunstung stark in den Vordergrund.

Der Mensch hat auch wie eine Reihe von Tieren die Fähigkeit, Flüssigkeit auf die Körperoberfläche austreten zu lassen. Durch die Verdunstung dieser Flüssigkeit wird dem Körper Wärme entzogen. Ein Liter verdunsteter

Schweiß entzieht dem Organismus 2 430 kJ (580 kcal); das bedeutet, daß 0,41 ml Schweiß den Organismus von 1 kJ befreien. Die Schweißverdunstung ist für den Sportler der bedeutsamste Mechanismus der Thermoregulation. Nach *Maron* u. a. (1977) erfolgen bei sportlicher Beanspruchung bis zu 80 % der Wärmeabgabe über den Schweiß.

Die Dehydration.

Unter „Dehydration“ wird ein Wasserverlust des Organismus verstanden. Obwohl die Bezeichnung „Hypohydration“ den Sachverhalt zutreffender beschreiben würde, wird dieser Begriff jedoch konventionell für ein erhaltenes osmotisches Gleichgewicht gebraucht. Es steht aber außer Frage, daß es bei einem starken Schweißverlust, bei dem der Organismus körpereigene Flüssigkeit verliert, zu Störungen der Osmolarität im Körper kommt.

Im Zusammenhang mit der Thermoregulation im Sport sind neben der markanten motorischen Belastung und ihren Folgen für alle Organe zwei Vorgänge von besonderem leistungsphysiologischem Interesse: der Anstieg der Körperkerntemperatur und der Flüssigkeitsverlust.

Der extrarenale Wasserverlust durch den Schweiß wirft zahlreiche Probleme auf. Ein kg Masseverlust bedeutet für den Sportler im Durchschnitt (stark abhängig von klimatischen Bedingungen) eine Einbuße von 870 g Körperwasser; die übrigen 130 g gehen zu Lasten der verbrauchten Substrate.

Bei der metabolen Energiewandlung kommt es über die oxydative Phosphorylierung zu einem Wassergewinn. Die Menge des Oxydationswassers beträgt je 100 gewandelter kJ beim Protein 2,2, beim Fett 3,2 und bei Kohlenhydraten 2,7 g.

In jedem Fall ist bei evaporativer Wärmeabgabe die Wasserbilanz des Organismus negativ. Der Schweißverlust kann bei einem Marathonlauf oder einem langen Radrennen oder auch bei extensiven Trainingseinheiten über 5 l betragen. Die besten Sportler erreichen und tolerieren die höchsten Gewichtsverluste. Diese Feststellung konnte nach Marathonläufen sowie nach dem Vasa-Skilaut wiederholt getroffen werden; bei den besten Läufern traten dabei Gewichtseinbußen bis zu 5,5 kg auf. Nach eigenen Beobachtungen erreichte ein Radrennfahrer der Spitzenklasse (77 kg Körpermasse) bei einem 220-km-Straßenrennen eine Masseeinbuße von 5,8 kg. *Pugh* u. a. (1967) bestätigten ebenfalls, daß die besten Sportler die höchste Körperkerntemperatur und den stärksten Dehydrationsgrad erreichen. Diese Autoren beschrieben beim Sieger eines Marathonlaufs einen Masseverlust von 5,23 kg (Körperkerntemperatur am Ziel: 41,1 °C); das bedeutet eine Schweißsekretion von etwa 2,1 l · h⁻¹. Auch bei Sportspielarten wie Fußball, Handball, Basketball oder auch Tennis kommen Masseverluste von mehr als 3 kg bei einem Wettkampf durchaus vor. Schließlich kann im Training einer jeden Sportart eine erhebliche Dehydration eintreten.

In der Literatur finden sich zahlreiche Mitteilungen zur Dehydrationsproblematik. Die meisten Arbeiten befassen sich jedoch mit der passiven Dehydration, d. h., mit den Auswirkungen des Schwitzens bei hohen Umgebungstemperaturen in Körperruhe. Die Zahl der Untersuchungen zur aktiven Dehydration bei Sportlern ist wesentlich geringer. Soweit Vergleiche zwischen passiver und aktiver Dehydration angestellt wurden, sind die Auffassungen selbst angesehener Forscher widersprüchlich.

So fanden z. B. *Costill* und *Fink* (1974) keine signifikanten Unterschiede in der Reaktion des Organismus auf thermische und Belastungsdehydration, während *Kozlowski* und *Saltin* (1964) doch wesentliche Differenzen, besonders bezüglich des Plasmavolumens, aufdeckten. Auch die eigenen Beobachtungen und Untersuchungen führten immer wieder zur Feststellung von Unterschieden

den in den organismischen Auswirkungen von aktiver und passiver Dehydration. Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich auf die Belastungsdehydration. Es wird daher auch nicht näher auf die Problematik des Gewichtsmachens in solchen Sportarten eingegangen, die in Gewichtsklassen ausgetragen werden.

Neben der direkten Wärmewirkung muß der Organismus also auch mit den Folgen der kompensatorischen Effekte fertig werden.

Die negative Wasserbilanz reduziert die Leistungsfähigkeit und fördert wärmeinduzierte Störungen des Organismus. Bezeichnend ist die sogenannte anhydrotische Hitzeerschöpfung, die sich durch Ermüdung, Tachykardie, Hyperpnoe, markanten Temperaturanstieg und Minderung der Schweißabsonderung auszeichnet.

Die Auswirkungen der Dehydration auf das Blut.

Das Blut ist der Wasserlieferant für die Schweißdrüsen. Das Plasmavolumen wurde von Costill u. a. (1974), Costill und Fink (1974), Ohira u. a. (1977), Senay und Christensen (1965) etwa proportional zum Grad der Belastungsdehydration herabgesetzt gefunden. Bei ihren Untersuchungen lag die Verringerung des Bestandes an Plasmawasser zwischen 16 und 18 %. Maron u. a. (1975) fanden nach einem Marathonlauf eine Reduktion des Plasmavolumens um 161 ml (= 4,4 %). Senay fand gemeinsam mit Fortney (1975) bei untrainierten Frauen einen signifikanten Anstieg des Hämatokrit während ausdauernder Fahrradergometrie. Novosadova (1977) ermittelte bei Untrainierten bei intensiven Anforderungen eine höhere Verringerung des Plasmavolumens als bei prolongierten motorischen Ansprüchen. Kirsch u. a. (1973) teilten mit, daß das Plasmavolumen sich trotz Gewichtsverlust nicht verringert, sobald Flüssigkeit zugeführt wird. Ohne jeglichen Ersatz tritt dagegen eine Reduktion des Plasmavolumens ein. Dabei kommt es parallel zur Dehydration zu einem Abfall des zentralen Venendrucks, was durch eine Verlagerung des Blutes in die Peripherie erklärt wird. Harrison u. a. (1975), Kozlowski und Saltin (1964), Senay und Kok (1976), Senay (1972) fanden dagegen erhebliche Wasserverluste des Körpers ohne eine Verringerung des Plasmavolumens.

In jüngster Zeit haben Senay u. a. (1978) sowie Senay (1979) klar herausgearbeitet, daß die Art der motorischen Beanspruchung und der Trainingszustand für die Veränderungen des Plasmavolumens unter Belastung eine ausschlaggebende Rolle spielen. Die entscheidenden Vorteile der Trainingsanpassung sind in einer Expansion des Plasmavolumens bei gesteigerter Schweißkapazität zu sehen!

Es läßt sich die Aussage machen, daß bei gut trainierten Ausdauersportlern der Flüssigkeitsverlust bei hochgradiger Dehydration ganz überwiegend intrazellulär erfolgt. Die gesteigerte Osmolarität des Serums, auf die noch ausführlich eingegangen wird, würde einen solchen Befund, der auch physiologisch zweckmäßig ist, zwanglos erklären.

Auch die Ergebnisse eigener Untersuchungen über die Kinetik der Erythrozytenkonzentration im Blut nach Marathonläufen und Straßenrennen bei hohen Außentemperaturen sprechen eher für eine Hämodilution bei hochtrainierten Personen im Zustand der Dehydration während extensiver motorischer Belastung (Abb. 1).

Auf Grund der Erythrozytenkonzentration kann auf eine Hämodilution unter Belastung geschlossen werden, während es nach der Belastung zu einer Hämokonzentration kommt. Eine Hämokonzentration mit Reduktion des Plasmavolumens bei Langzeitausdauer-Anforderungen würde in jedem Fall eine zusätzliche Herzbelastung und eine Erschwerung der Kreislauf Funktion bedeuten. Es gibt Hinweise darauf, daß hochtrainierte Ausdauersportler sich in der belastungsbeding-

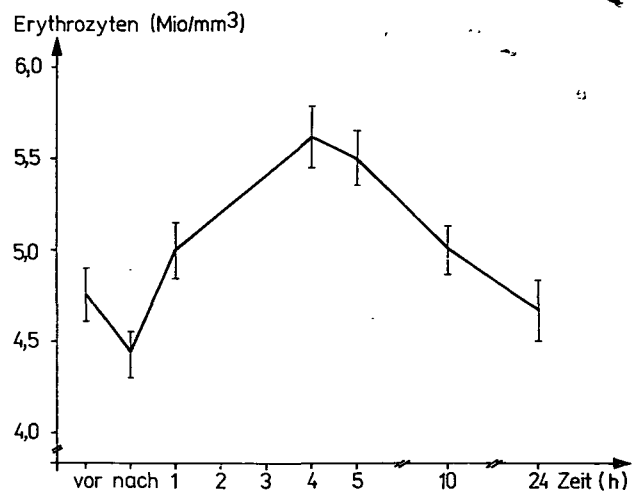


Abb. 1 Die Beeinflussung des roten Blutbildes durch ein 200-km-Radrennen; mittlerer Masseverlust der Sportler: 3,4 kg (n = 9)

ten Regulation des Blutvolumens von untrainierten Personen unterscheiden. Als Anpassungserscheinung gelingt es dem Organismus des Ausdauertrainierten offensichtlich, auch bei höheren Graden der Dehydration sein Plasmavolumen konstant zu halten oder gar zu vergrößern. Spitzenathleten in den Ausdauersportarten verfügen über ein großes Volumen von relativ dünnem Blut. Diese Reaktion bedeutet eine Steigerung des Wärmetransports durch das zirkulierende Blutvolumen. Die Fähigkeit zur Hämodilution entscheidet mit über die Hitzetoleranz. Darüber hinaus verbessert eine Hypervolämie bei unverändertem Hämatokrit den Sauerstofftransport des Blutes, während eine isovolumetrische Polyzythämie infolge gesteigerter Viskosität des Blutes die Fähigkeit zum Sauerstofftransport reduziert (Wolfe und Horvath, 1976). Infolge des gesteigerten Reibungskoeffizienten verschlechtern sich die Fließeigenschaften des Blutes. Das klinisch geläufige blood-high-viscosity-Syndrom geht mit Störungen der Kreislauf Funktion und Minderung der Sauerstofftransportkapazität einher; dabei sind namentlich die Mikrozirkulation und die Gewebperfusions beeinträchtigt.

Bei der Belastungsdehydration kommt es zu einer Proteinbewegung aus dem extravasalen in den intravasalen Raum (Harrison u. a., 1975; Maron u. a., 1975; Senay, 1972, 1975; Senay und Kok, 1976). Dieser Befund ist wesentlich für die Aufrechterhaltung des Plasmavolumens. Senay und Christensen (1965) fanden bei ihren Untersuchungen eine totale Zunahme der Serumproteine um 15,7 %; daran waren die Albumine zu 11,6 % und die Globuline zu 22,5 % beteiligt. Auch dieser Befund gestattet einen Wasserverlust des Körpers ohne Verringerung des Plasmavolumens und erleichtert nach Senay (1972) die Wasserpassage zwischen den für die Thermoregulation wesentlichen Kompartimenten des Körpers. Diese Feststellung würde ebenfalls darauf hinauslaufen, daß der Flüssigkeitsverlust aus extravasalen Flüssigkeitskompartimenten des Organismus erfolgt. Harrison u. a. (1975) fanden den intravasalen Proteintransfer nur bei aktivem Schwitzen. Passives Schwitzen löste dagegen keine intravasale Proteinanreicherung aus. Nach Röcker u. a. (1975, 1976) hängt das Plasmavolumen maßgeblich von der Proteinkonzentration und von der totalen intravasalen Proteinmenge ab. Diese Autoren führen das höhere Plasmavolumen hochtrainierter Ausdauersportler darauf zurück, daß bei ihnen die Plasmaproteine um mehr als 20 % höher liegen als bei Untrainierten. Ein Gramm Protein bindet etwa 15 g Wasser. Nach den Berechnungen von Maron u. a. (1975) treten bei einem Marathonlauf durchschnittlich 27 g Protein in das Gefäßbett ein. Diese Angabe befindet sich allerdings im Widerspruch zu Viru und Körge (1971), die niedrigere Werte feststellten. Röcker u. a. (1975, 1976) halten zu Recht Untersuchungen zum Verhalten der Immunglobuline für besonders dringlich.

Es ist eine praktische Erfahrung, daß dehydrierte Sportler anfällig gegenüber Infekten sind.

Weitere organismische Auswirkungen der Dehydration.

Einen Anstieg der Herzschlagfrequenz im Zustand der Dehydration beschrieben Allen u. a. (1977), Bock u. a. (1967), Buskirk u. a. (1958), Costill u. a. (1976), Greenleaf und Sargent (1965), Senay und Christensen (1965), Strydom und Holdsworth (1968). Nach eigenen Untersuchungen ist bei stark dehydrierten Sportlern die Herzfrequenz nicht nur in Ruhe, sondern auch bei standardisierter submaximaler Belastung heraufgesetzt; ihre Rückstellung auf den Ausgangswert erfolgt verzögert. Nach Saltin (1964) ist unter Belastung das Herzschlagvolumen und die Herzleistung herabgesetzt. Craig und Cummings (1966) stellten eine orthostatische Kreislaufabflachung fest. Greenleaf und Sargent (1965) fanden den systolischen Blutdruck erniedrigt. Das Herz-Kreislauf-System ist durch eine Dehydration offensichtlich stärker in Mitleidenschaft gezogen als das neuromuskuläre System. Die Sauerstoffaufnahme, auch ihr maximaler Wert, wurde im Zustand der Dehydration nicht erniedrigt gefunden (Bock u. a., 1967; Greenleaf u. a., 1976; Kozlowski, 1966; Saltin, 1964). Saltin (1964) ermittelte eine reduzierte anaerobe Mobilisationsfähigkeit. Seine Sportler erreichten im dehydrierten Zustand maximale Laktatwerte von $10,4 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ gegenüber $14,0 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ in rehydriertem Zustand.

Horstmann und Horvath (1973) stellten bei dehydrierten Personen eine Verminderung der Hautdurchblutung fest. Dieser Befund ist insofern bedeutsam, als die gesteigerte Hautdurchblutung eine der hauptsächlichsten thermoregulatorischen Reaktionen darstellt.

Die Reaktionszeit ist im Zustand der Dehydration nicht verändert (Greenleaf u. a., 1976).

Dehydration und Temperatursteigerung beeinflussen den Substratstoffwechsel. Costill u. a. (1967) sowie Eddy u. a. (1976) beobachteten bei Hyperthermie und Dehydration einen „adipokinetischen“ Effekt, d. h., eine bemerkenswerte Erhöhung der Konzentration freier Fettsäuren im Blut. Bollinger (1974) bringt die Dehydration mit der Neigung zu Hypoglykämien (mit der sportpraktisch stichhaltigen Auswirkung der Hungerschwäche) in Verbindung. Der Wasserverlust löst auch bemerkenswerte Reaktionen des Endokriniums aus (Fasciola u. a., 1969; Senay und Beaumont, 1969; Montrastruc, 1978). Diese Reaktionen sind noch wenig untersucht, jedoch kommt es fraglos im Zustand der Exsikkose im Sinne einer hormonellen Gegensteuerung zu einer gesteigerten Produktion von Aldosteron und auch von antidiuretischem Hormon. Hierdurch tritt eine Natriumanreicherung ein. Da diese Hormonwirkungen langschwingend sind, kann 1–2 Tage nach einer Extensivbelastung mit hohem Dehydrationsgrad eine überschießende Wasserretention im Organismus einsetzen, die ein Körpermasseplus bis zu 2 kg verursacht. Derartige Beobachtungen können in der Sportpraxis immer wieder gemacht werden. Ein bis zwei Tage nach dieser Reaktion kommt es zu einer überschießenden Diurese. Costill u. a. (1976) beschrieben eine Natriumretention nach Belastungsstößen. Die damit verbundene Wasserretention konnte bis zu 48 Stunden anhalten. Die Natriumspeicherung war mit einer Expansion des extrazellulären Flüssigkeitsvolumens verbunden.

Die ungleichmäßige Verteilung des Wasserverlustes.

In Tierversuchen fanden Wallace u. a. (1970) bei thermischer („passiver“) Dehydration mit einer Körpermasseabnahme von 10 % das Wasserdefizit ungleichmäßig verteilt. Der stärkste Wasserverlust wurde in den Eingeweiden gefunden, die (bei diesem Versuchsansatz

nicht beanspruchte) Skelettmuskulatur war unterdurchschnittlich betroffen. Costill u. a. (1976) ermittelten bei muskelbiopsischen Untersuchungen nach überwiegend thermischer Dehydration einen Plasmaverlust von 2,4 und einen Verlust an Muskelwasser von 1,2 %, wenn die Körpermasse um 1 % abnahm.

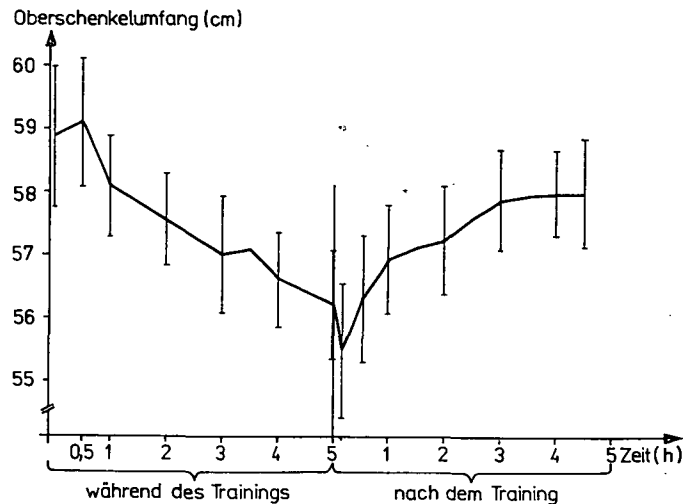


Abb. 2 Beeinflussung des Oberschenkelumfangs bei Radrennfahrern durch ein 180-km-Training; mittlerer Masseverlust: 2,2 kg (n = 4)

Von Interesse sind in diesem Zusammenhang eigene Untersuchungen über den Beinumfang von Radrennfahrern bei ausgeprägter Belastungsdehydration (Abb. 2). Extensive Radrennen führen zu markanter Verkleinerung des Volumens der Arbeitsmuskulatur. Bei thermischer Dehydration deutet sich dieser Vorgang nur an. Diesem Befund liegen fraglos mehrere physiologische Mechanismen zugrunde. So kommt es zu Elektrolytverlusten der Zelle, auch eine Säuerung wirkt entquellend. In erster Linie ist dafür aber der belastungsinduzierte Verlust des Muskelglykogens verantwortlich zu machen. Da 1 g Glykogen 3 g Wasser bindet (Karlsön und Saltin, 1971; Williams, 1976), wird auf diese Weise Wasser freigegeben. Betrachtet man zur Berechnung der Volumenänderung in grober Näherung das Bein als Kegelstumpf, so können aus der massigen Muskulatur der beiden unteren Extremitäten etwa 1,5 l Wasser herrühren! Diese Wasserreserve des Körpers, die naturgemäß allein bei der Belastungsdehydration zur Verfügung steht, ist sicher nicht zu unterschätzen und muß in jede Betrachtung mit einbezogen werden. Der Befund weist darauf hin, daß aktive Muskeln infolge des Glykogenabbaus wesentlich stärker Wasser abgeben als inaktive Muskeln. Die beim beschriebenen Experiment ebenfalls ermittelten Oberarmumfänge zeigten nur eine geringe Veränderung.

Die Osmolarität des Schweißes.

Der Schweiß ist gegenüber den Körperflüssigkeiten, insbesondere gegenüber dem Plasma, hypoton (niederosmolar). Die Folge eines starken Schweißverlustes ist eine Störung des hydro-salinischen Gleichgewichts (Montrastruc, 1978). Bei gut trainierten Ausdauersportlern ist diese Situation besonders ausgeprägt, da im Sinne der Anpassung und der Ausbildung eines Sparmechanismus für Mineralien bei diesem Personenkreis der Schweiß mineralienarm ist. Das Ergebnis für den Organismus ist eine Dehydrationshypertonie. Es kommt zur Hyperosmolarität im Plasma; das Elektrolytgleichgewicht ist gestört. Körpertemperatur und Plasmaosmolarität sind bei Sportlern im allgemeinen positiv korreliert. Diese Situation führt weiterhin dazu, daß die gesteigerte osmotische Kraft im Organismus Wasser zurückhält und auf diesem Wege die Schweißsekretion hemmt. Das wiederum beeinträchtigt die Thermoregulation, indem die weitere Schweißabson-

derung erschwert wird. Die gesteigerte Plasmaosmolarität hat durch zentrale Rückkopplungen oder einen direkten Angriff an den Schweißdrüsen oder an zentralen Bezirken möglicherweise auch einen hyperthermen Effekt. Es tritt auf diese Art und Weise ein positiver Rückkopplungsmechanismus in Kraft. Von der Bewältigung dieser Gegebenheiten hängt das Temperaturniveau des Organismus mit ab. Je stärker die Austrocknung durch den Schweiß ist, um so mehr geht die Schweißmenge zurück. Die Wassersparmechanismen treten in Konkurrenz zur Thermoregulation. Eine herabgesetzte Schweißsekretion bei Dehydration wurde von *Buskirk* u. a. (1958), *Eklom* u. a. (1970), *Galt* (1973); *Nielsen* (1969, 1974, 1976), *Senay* (1972, 1975), *Smiles* und *Robinson* (1971), *Strydom* und *Holdsworth* (1968) sowie *Wyndham* (1973) beschrieben. Mit diesem Sachverhalt ist eine der motorischen Belastung inadäquat starke Steigerung der Körperkerntemperatur verbunden. *Maron* u. a. (1977) beschrieben bei einem Sportler während des Boston-Marathonlaufs ein Ansteigen der Körperkerntemperatur von 40,9 auf 41,9 °C, als zwischen der 113. und 119. Minute des Laufes die Schweißsekretion infolge erheblicher Dehydration stark nachließ (dieser Sportler erreichte das Ziel ohne Zeichen einer Hitzekrankheit, nachdem er bei etwa 75 % seines VO_2 max. noch 44 min gelaufen war!). Die Körperkerntemperatur ist bei vergleichbaren sportlichen Ausdaueranforderungen mit dem Grad der Dehydration korreliert (*Gisolfi* und *Copping*, 1974). Es darf auch nicht übersehen werden, daß zum klassischen Hitzschlag die trockene, heiße Haut gehört und daß die Leistungsminderung und die Gefahr einer Siriasis (Hitzschlag) ansteigen, wenn die Dehydration hohe Grade annimmt oder die Schweißsekretion reduziert ist.

Der Schweißverlust schränkt bei gleichem Antrieb die Möglichkeiten der Wärmeregulation ein (*Adams* u. a., 1975; *Greenleaf* und *Castle*, 1973; *Nadel*, 1979; *Nielsen* u. a., 1971). Die Abbildung 3 veranschaulicht in grobschematischer Darstellung diese Situation; eine definierte Schweißrate erfordert im Zustand der Dehydration stärkere Impulse von seiten einer gesteigerten Körperkerntemperatur. Die Herabsetzung des Körperwassergehalts erschwert die Mobilisation des Hauptmechanismus der Wärmeregulation.

Obwohl der Wasser- und Elektrolytsubstitution eine eigene Übersicht gewidmet sein wird, sei in diesem Zusammenhang bereits die Aufmerksamkeit auf die Experimente von *Nielsen* (1969, 1974) gelenkt. Er fand bei dehydrierten Personen ein Absinken der aktuellen Körperkerntemperatur bei der Gabe von reinem Wasser. Dagegen erhöhte sich die Temperatur noch, wenn eine

2...3%ige Kochsalzlösung verabreicht wurde. *Harrison* u. a. (1978) machten die gleiche Feststellung bereits nach der Aufnahme einer 1%igen NaCl-Lösung. Die Gabe einer hypertonischen Lösung wirkt also wie die Dehydration selbst. Nach der Auffassung von *Nielsen* (1969, 1974) ist der physiologische Einfluß der Osmolarität größer als der des Wasserdefizits. Er nimmt eine Wirkung auf die Schweißdrüsen und auf thermoregulatorische Zentren an. Zu ähnlichen experimentellen Ergebnissen gelangten auch *Harrison* (1976) sowie *Harrison* u. a. (1978); diese Autoren ermittelten eine Beziehung zwischen der Steigerung der Körperkerntemperatur und der Plasmatonizität (insbesondere der Konzentration von Na im Plasma). *Greenleaf* u. a. (1976) fanden bei Hunden durch die Infusion hypertonischer Lösungen bei Belastung eine Steigerung der Körperkerntemperatur. Dabei war das Plasmavolumen nicht verändert. Zwischen der Na-Konzentration im Serum und der Körperkerntemperatur fand sich auch hier eine positive Korrelation. Wasseraufnahme dagegen reduzierte unter Belastung die ionenosmotisch mit bedingte Hyperthermie.

An dieser Stelle sei kurz darauf verwiesen, daß Tierversuche zur Problematik der Dehydration sehr starke Speziesdifferenzen ergeben; *Yagil* u. a. (1978) haben kürzlich darüber berichtet. Eine Extrapolation von Ergebnissen aus Tierexperimenten auf den Menschen ist nur sehr bedingt möglich.

Angesichts der osmolaren Hypertonie der Kreislaufflüssigkeit ist es nicht überraschend, daß das Volumen der Blutzellen bis zu 7 % verkleinert gefunden wurde (*Costill* und *Fink*, 1974; *Harrison* u. a., 1975). Auch *Maron* u. a. (1975) beschreiben den Efflux von Flüssigkeit aus den roten Blutzellen auf der Grundlage einer gesteigerten Plasmaosmolarität.

Die Auswirkungen der Dehydration auf die Leistungsfähigkeit.

Angesichts der dargestellten Befunde ist die übereinstimmend gefundene Reduktion der Ausdauer-Leistungsfähigkeit bei dehydrierten Sportlern nicht überraschend (*Baron* u. a., 1972; *Buskirk* u. a., 1958; *Saltin*, 1964; *Strydom* und *Holdsworth*, 1968). Nach *Kozlowski* (1966) wird dieser Befund bei einem Flüssigkeitsverlust von 2–3 l manifest. Eine leichte Dehydration (1/2–1 l) kann sogar vorteilhaft sein; sie läßt sich eingliedern in den Komplex günstiger Erwärmungsreaktionen (*Israel*, 1977).

Nach *Craig* und *Cummings* (1966) ist die Reduktion der Leistungsfähigkeit allerdings stärker mit dem Temperaturanstieg als mit dem Grad der Dehydration korreliert. Zwischen der Leistung im Marathonlauf und dem Grad der Dehydration fand *Costill* (1972) keine gesicherten Beziehungen. Dieser Befund überrascht nicht, da an hochtrainierte wie weniger trainierte Personen ja ähnliche thermoregulatorische Ansprüche gestellt werden. Die Schweißsekretion dürfte dennoch bei gut trainierten Marathonläufern bei gleichem Masseverlust während des Wettkampfes größer sein, da sie eine kürzere Laufzeit haben. Die Auffassung von *Buskirk* und *Beetham* (1960) sowie *Costill* (1972), daß beim Marathonlauf die Dehydration die Leistung nicht beeinträchtigt, erscheint etwas voreilig; ihr wurde auch von *Pugh* (1969) widersprochen. Auch *Torranin* u. a. (1979) fanden die Ausdauer-Leistungsfähigkeit im Zustand der Dehydration stark (um etwa 30 %) erniedrigt. Unabhängig von derartigen Kontroversen zeigt die Kenntnis der sportlichen Praxis, daß Trainierte hohe Dehydrationsgrade reaktionsärmer vertragen als Untrainierte; Kondition und Dehydrations-toleranz sind miteinander positiv toleriert.

Nach *Greenleaf* und *Sargent* (1965) wird bei trainierten Personen die Kraftfähigkeit durch eine Dehydration von

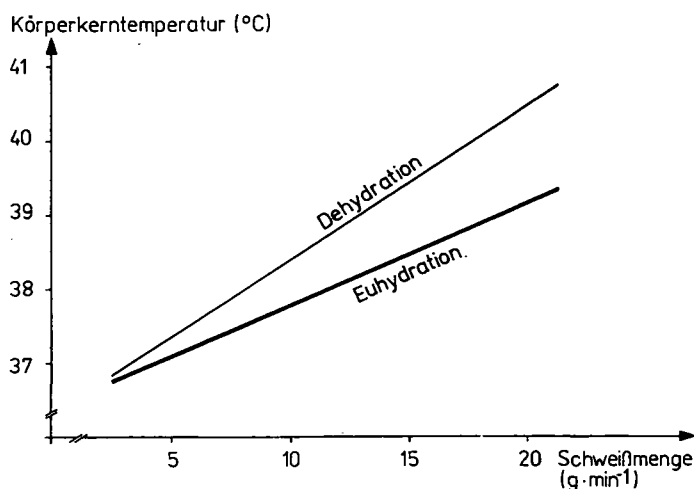


Abb. 3 Grobschematische Darstellung der Beziehung zwischen der Körperkerntemperatur, der Schweißmenge und dem Hydrationszustand

3,3 % des Körpergewichts nicht beeinträchtigt. Eigene Untersuchungen ergaben bei Radrennfahrern, daß selbst bei hochgradiger Dehydration (bis zu 6 % der Körpermasse) die Kraftfähigkeit der Kniestrecker (maximaler Pedaldruck) nicht reduziert war.

Es wurde auch bereits erwogen, daß die Veränderung der Mineralienkonzentration im Organismus, vor allem die Erhöhung der Kaliumkonzentration, die Herzfunktion negativ beeinflussen kann. Die Möglichkeit von vorübergehenden und sicherlich nicht gravierenden Herzfunktionsstörungen, die sich z. B. auch in der Herzstromkurve manifestieren, ist nicht völlig auszuschließen.

Die Dehydration verzögert die Harnstoffkinetik infolge Einschränkung der Nierenfunktion; es ist auch mit einer Retention weiterer harnpflichtiger Substanzen zu rechnen. Inwieweit andererseits eine „Entgiftung“ des Organismus durch eine Harnstoff- oder Laktatelimination mit den Schweiß eintritt, ist noch nicht untersucht.

Die Dehydration beeinflusst die Proteinsynthese als Bedingung für epigenetische Anpassungsvorgänge ungünstig.

Bei starker Ausprägung der Dehydration können Erschöpfung, Krämpfe oder Tetanie eintreten. In der zu meist in Verbindung mit der Überhitzung vorliegenden Exsikkose kann es durchaus auch zum Hitzschlag kommen, bei dem der Hypothalamus seine regulatorischen Funktionen einstellt und der stets ein lebensbedrohlicher Zustand ist.

Erhöhte Körperkerntemperatur und Dehydration wirken weitgehend synergistisch und überlagern sich teilweise in ihren Auswirkungen. Welcher Effekt worauf zurückzuführen ist, läßt sich mitunter schwer unterscheiden.

Frauen, ältere Personen und Kinder regulieren nicht nur die Körpertemperatur schlechter, sondern tolerieren auch die Dehydration schlechter als Männer im Hochleistungsalter. Aus diesem Grunde findet man auch bei Männern nicht nur die höchsten Werte für die Körperkerntemperatur nach sportlichen Belastungen, sondern auch die stärksten Masseabnahmen infolge Schweißverlustes. Ohne Frage gibt es auch Toleranzunterschiede von Mensch zu Mensch. Dabei sind u. a. auch Erbfaktoren beteiligt. Auf diese individuellen Reaktionen haben besonders *Senay* und *Kok* (1976) sowie *Harrison* u. a. (1975) hingewiesen. Diese Autoren fanden u. a. eine positive Korrelation der Dehydrationstoleranz und der maximalen Sauerstoffaufnahme. Dieser Befund stimmt mit der Beobachtung überein, daß Sportler mit guter Ausdauerleistungsfähigkeit eine besonders gute Dehydrationsverträglichkeit aufweisen. *Senay* und *Kok* (1976) stellten weiterhin fest, daß dehydrations-tolerante Personen im Zustand des Wasserdefizits zur Hämodilution neigen und daß sie generell ein größeres Plasmavolumen haben als dehydrationsintolerante Menschen. Auf ethnische Unterschiede in diesem Zusammenhang sei hingewiesen.

Galt (1973) sowie *Nielsen* (1974, 1976) stellten eine Adaptation des Organismus an wiederholte Dehydrationszustände fest. Die Sportpraxis zeigt, daß diese Adaptation sich gleichsinnig mit der sportlichen Leistungsfähigkeit verändert.

Резюме

Для человека в качестве теплорегулирующего организма поддержание температуры тела в относительно узких пределах имеет жизненно важное значение. При длительной интенсивной моторной нагрузке в результате значительного термогенеза температура тела может повышаться до 40 °C. В этих условиях испарение пота является наиболее важным механизмом теплоотдачи. В связи с этим при экстенсивных нагрузках наступают значительные потери жидкости организмом в количествах до 5 л. Состояния крайнего обезвоживания вызывают ряд реакций организма, которые в большей или меньшей степени оказывают

неблагоприятное влияние на физическую работоспособность. Различные системы организма неодинаково затронуты потерей жидкости, активная мускулатура обезвоживается в наибольшей степени. Влияние обезвоживания зависит от вида предъявляемой нагрузки и от тренированности; в то время как нетренированные при экстенсивных нагрузках склонны к сокращению плазмы, у тренированных наступает скорее экспансия плазмы. При этом белок поступает в интраваскулярное пространство. Так как пот гипотоничен (осмотричность ниже по сравнению с плазмой), наступает нарушение водно-солевого равновесия. Представлены меры, вытекающие из указанных данных, которые также эффективны для возмещения жидкости и электролитов. Дальнейшие рассуждения к проблематике обезвоживания относятся к реакциям отдельных систем организма, к изменениям физических способностей и к вопросам возрастной и половой специфики.

Summary

For man as a warm-blooded living creature, it is of vital importance to keep to the relatively narrow margin of the temperature of the interior of his body. Intensive motor endurance loading results in considerable thermogenesis which may lead to an increase in the temperature of the interior of the body to more than 40 °C. Under such conditions, the evaporation of sweat is the most important mechanism of heat loss. In this way, fluid losses up to 5 litres occur under extensive loads. Conditions of high dehydration trigger a series of organic reactions by which the physical work capacity is more or less impaired. The compartments of the body are differently afflicted by the loss of fluid; the active musculature is highly dehydrated. The repercussions of dehydration on the plasma volume depend upon the kind of exertion and the state of training; whereas untrained persons tend to plasma concentration, trained subjects are more likely to show plasma expansion. There is an influx of protein into the intravascular space. As the sweat is hypertonic (low-osmolar in comparison with the plasma), the water-electrolyte balance is disturbed; the implications of this finding, which apply also to fluid and electrolyte substitution, are outlined. Further reflections on the problems concerned with dehydration relate to reactions of various organ systems, changes in physical capacities and questions of sex and age specificities.

Literatur

1. Adams, W. C., R. H. Fox, A. J. Fry and J. C. McDonald: Thermoregulation during marathon running in cool, moderate and hot environments. *J. appl. Physiol.* **38** (1975), 1030. — 2. Allen, T. E., D. P. Smith and D. K. Miller: Hemodynamic response to submaximal exercise after dehydration and dehydration in high school wrestlers. *Med. Sci. in Sports* **9** (1977), 159. — 3. Baron, D. K., u. a.: Einfluß von Flüssigkeitsentzug (Gewichtmachen) auf Stoffwechsel und körperliche Leistungsfähigkeit. *Sportarzt u. Sportmed.* **23** (1972), 161. — 4. Bierbaum, H., H. Mellerowicz, H. Heppe, E. Weber und H. Stoboy: Vergleichende Untersuchungen über Laufleistungen, Schweißquantität und Körperkerntemperatur bei hohen Luft- und Strahlungstemperaturen. *Sportarzt u. Sportmed.* **23** (1972), 164. — 5. Blake, J. B., and R. C. Larrabee: Observations upon long distance runners. *Boston med. surg.* **148** (1903), 195. — 6. Bock, W., E. L. Fox and R. Bowers: The effects of acute dehydration upon cardio-respiratory endurance. *J. Sport Med.* **6** (1967), 67. — 7. Bollinger, A.: Schweißverluste und Trinkmengen von Tennisspielern. *Schweiz. Z. Sportmed.* **22** (1974), 25. — 8. Buskirk, E. R., P. F. Jampietro and D. E. Bass: Work performance after dehydration: effects of physical conditioning and heat acclimatization. *J. appl. Physiol.* **12** (1958), 189. — 9. Buskirk, E. R., and W. P. Beetham: Dehydration and body temperature as a result of marathon running. *Med. Sport* **14** (1960), 493. — 10. Costill, D. L., P. J. Cahill and D. Eddy: Metabolic responses to submaximal exercise in three water temperatures. *J. appl. Physiol.* **22** (1967), 628. — 11. Costill, D. L.: Physiology of marathon running. *J. am. med. Assoc.* **221** (1972), 1024. — 12. Costill, D. L., and W. J. Fink: Plasma volume changes following exercise and thermal dehydration. *J. appl. Physiol.* **37** (1974), 521. — 13. Costill, D. L., G. Branam, W. Fink and R. Nelsen: Exercise induced sodium conservation: changes in plasma

- renin and aldosterone. *Med. Sci. in Sports* 8 (1976), 209. — 14. Craig, F. N., and E. G. Cummings: Dehydration and muscular work. *J. appl. Physiol.* 21 (1966), 670. — 15. Eddy, D. O., K. E. Sparks and C. L. Turner: The adipokinetic effect of hyperthermic stress in man. *Europ. J. appl. Physiol.* 35 (1976), 103. — 16. Ekblom, B., C. J. Greenleaf, J. E. Greenleaf and L. Hermansen: Temperature regulation during exercise dehydration in man. *Acta physiol. scand.* 79 (1970), 475. — 17. Fasciola, J. C., G. L. Totel and R. E. Johnsen: Antidiuretic hormone and human eccrine sweating. *J. appl. Physiol.* 27 (1969), 303. — 18. Galt, J. M., C. M. Ludgate, R. T. Pettigrew, T. Scatcherd and A. N. Smith: Circulatory and electrolyte changes during hyperthermia to 42°C. *J. Physiol.* 238 (1973), 30. — 19. Gilat, T., S. Shobolev and E. Schar: Mechanism of heart stroke. *J. trop. Med. Hyg.* 66 (1963), 204. — 20. Gisolfi, C. V., and J. R. Copping: Thermal effects of prolonged treadmill exercise in the heat. *Med. Sci. in Sports* 6 (1974), 108. — 21. Greenleaf, J. E., and F. Sargent: Voluntary dehydration in man. *J. appl. Physiol.* 20 (1965), 719. — 22. Greenleaf, J. E., and B. L. Castle: Exercise temperature regulation in man during hypohydration and hyperhydration. *J. appl. Physiol.* 30 (1971), 847. — 23. Greenleaf, J. E., S. Kozlowski, K. Nazar, H. Kaciuba-Usicko, Z. Brzezinska and A. Ziemba: Ion-osmotic hyperthermia during exercise in dogs. *Am. J. Physiol.* 230 (1976), 74. — 24. Greenleaf, J. E., V. A. Convertino, R. W. Stremel, E. M. Bernauer, W. C. Adams, S. R. Vignau and P. J. Brock: Plasma (Na^+ , Ca^{2+}), and volume shifts and thermoregulation during exercise in man. *J. appl. Physiol.* 43 (1977), 1026. — 25. Harrison, M. H., R. J. Edwards and D. R. Leitch: Effect of exercise and thermal stress on plasma volume. *J. appl. Physiol.* 39 (1975), 925. — 26. Harrison, M. H.: Intravascular volume and electrolyte changes with acclimatization to heat in man. *J. Physiol.* 258 (1976), 30. — 27. Harrison, M. H., R. J. Edwards and P. A. Fennessy: Intravascular volume and tonicity as factors in the regulation of body temperature. *J. appl. Physiol.* 44 (1978), 69. — 28. Horstmann, D. H., and S. M. Horvath: Cardiovascular adjustments to progressive dehydration. *J. appl. Physiol.* 35 (1973), 501. — 29. Ingram, D. L., and H. Kaciuba-Usicko: The influence of food intake and ambient temperature on the rate of thyroxine utilisation. *J. physiol.* 270 (1977), 431. — 30. Israel, S.: Das Erwärmen als Startvorbereitung. *Med. u. Sport* 17 (1977), 386. — 31. Karlsson, J., and B. Saltin: Diet, muscle glycogen, and endurance performance. *J. appl. Physiol.* 31 (1971), 203. — 32. Kirsch, K., G. Schultze, L. Röcker and U. Bierbaum: The effect of exercise and dehydration on plasma volume and central venous pressure. *Z. Kardiol.* 62 (1973), 49. — 33. Kozlowski, S., and B. Saltin: Effect of sweat loss on body fluids. *J. appl. Physiol.* 19 (1964), 11. — 34. Kozlowski, S.: Physical performance and maximum oxygen uptake in man exercise dehydration. *Bull. Acad. Pol.* 14 (1966), 513. — 35. Maron, M. B., S. M. Horvath and J. E. Wilkerson: Acute blood biochemical alterations in response to marathon running. *J. appl. Physiol.* 34 (1975), 173. — 36. Maron, M. B., J. A. Wagner and S. M. Horvath: Thermoregulatory response during competitive marathon running. *J. appl. Physiol.* 42 (1977), 909. — 37. Montrastruc, P.: Les mouvements de l'eau au cours de l'exercice physique. *Med. Sport* 52 (1978), 172. — 38. Nadel, E. R.: Control of sweating rate while exercising in the heat. *Med. Sci. in Sports* 11 (1979), 31. — 39. Nielsen, B.: Thermoregulation in rest and exercise. *Acta physiol. scand. Suppl.* 323 (1969). — 40. Ders.: Effects of changes in plasma volume and osmolarity on thermoregulation during exercise. *Acta physiol. scand.* 90 (1974), 725. — 41. Ders.: Physical effort and thermoregulation in man. *Isr. J. med. Sci.* 12 (1976), 974. — 42. Nielsen, B., H. Hansen, S. O. Jorgensen and E. Nielsen: Thermoregulation in exercising man during dehydration and hyperhydration with water and saline. *Int. Biometeorol.* 15 (1971), 195. — 43. Novosadova, J.: The changes in hematocrit, hemoglobin, plasma volume and proteins during and after different types of exercise. *Europ. J. appl. Physiol.* 36 (1977), 223. — 44. Ohira, Y., A. Ito and S. Ikawa: Correction of water content and solute concentration in blood during hemoconcentration. *J. appl. Physiol.* 42 (1977), 739. — 45. Proctor, D. F., J. B. Andersen and G. R. Lundquist: Human nasal mucosal function at controlled temperatures. *Respirat. Physiol.* 30 (1977), 190. — 46. Pugh, L. G. C. E., J. L. Corbett and R. H. Johnson: Rectal temperatures, weight losses and sweat rates in marathon running. *J. appl. Physiol.* 23 (1967), 347. — 47. Röcker, L., K. A. Kirsch and H. Stoboy: Plasma volume, albumin and globulin concentrations and their intravascular masses. *Europ. J. appl. Physiol.* 36 (1976), 57. — 48. Röcker, L., K. Kirsch, U. Mund and H. Stoboy: The role of plasma proteins in the control of plasma volume during exercise and dehydration in long distance runners and cyclists. In: Howald, H., u. J. R. Portmans: Metabolic adaptation to prolonged physical exercise. Birkhäuser, Basel 1975. — 49. Saltin, B.: Aerobic work capacity and circulation at exercise in man. *Acta physiol. scand.* 62 (1964), 1. — 50. Ders.: Aerobic and anaerobic work capacity after dehydration. *J. appl. Physiol.* 19 (1964), 1114. — 51. Ders.: Circulatory response to submaximal and maximal exercise after thermal dehydration. *J. appl. Physiol.* 19 (1964), 1125. — 52. Senay, L. C.: Changes in plasma volume and protein content during exposure of working men to various temperatures before and after acclimatization to heat. *J. Physiol.* 224 (1972), 61. — 53. Ders.: Effects of exercise in the heat on body fluid distribution. *Med. Sci. in Sports* 11 (1979), 42. — 54. Senay, L. C., and M. L. Christensen: Cutaneous circulation during dehydration and heat stress. *J. appl. Physiol.* 20 (1965), 278. — 55. Senay, L. C., and M. L. Christensen: Cardiovascular and sweating responses to water ingestion during dehydration. *J. appl. Physiol.* 20 (1965), 975. — 56. Senay, L. C., and M. L. Christensen: Changes in blood plasma during progressive dehydration. *J. appl. Physiol.* 20 (1965), 1136. — 57. Senay, L. C., and W. v. Beaumont: Antidiuretic hormone and evaporative weight loss during heat stress. *Arch. Ges. Physiol.* 312 (1969), 82. — 58. Senay, L. C., and S. Fortney: Untrained females: Effect of submaximal exercise and heat on body fluids. *J. appl. Physiol.* 39 (1975), 643. — 59. Senay, L. C., and R. Kok: Body fluid responses of heat-tolerant and intolerant men to work in a hot-wet environment. *J. appl. Physiol.* 40 (1976), 55. — 60. Senay, L. C., P. Joosts and R. Rogers: Hemoconcentration as a function of exercise mode. *Fed. Proc.* 37 (1978), 664. — 61. Smiles, K. A., and S. Robinson: Regulation of sweat secretion during positive and negative work. *J. appl. Physiol.* 30 (1971), 409. — 62. Strydom, N. B., and L. D. Holdsworth: The effects of different levels of water deficit on physiological responses during heat stress. *Int. Z. angew. Physiol.* 26 (1968), 95. — 63. Torranin, C., D. P. Smith and R. J. Byrd: The effect of acute thermal dehydration and rapid rehydration on isometric and isotonic endurance. *J. Sports Med. phys. Fitness* 19 (1979), 1. — 64. Viru, A., and F. Korge: Metabolic processes and adrenalcortical activity during marathon races. *Int. Z. angew. Physiol.* 29 (1971), 173. — 65. Wallace, W. M., K. Goldstein, A. Taylor and T. M. Teree: Thermal dehydration of the rat: Distribution of losses among tissues. *Am. J. Physiol.* 219 (1970), 1544. — 66. Williams, M. H.: Nutritional aspects of human physical and athlete performance. Thomas, Springfield 1976. — 67. Wolfe, R. R., and S. M. Horvath: Hemodynamic responses to acute hematocrit and blood volume alterations in rats. *Europ. J. appl. Physiol.* 35 (1976), 159. — 68. Wyndham, C. H.: The physiology of exercise under heat stress. *Am. Rev. Physiol.* 35 (1973), 193. — 69. Yagil, R., Z. Etzion and J. Ganam: Camel thyroid metabolism: effect of season and dehydration. *J. appl. Physiol.* 4 (1978), 540.

Manuskripteingang: 19. Februar 1980

Anschrift des Verfassers: Prof. Dr. Dr. S. Israel, Institut Freizeit- und Erholungssport der DHfK, DDR — 7010 Leipzig, Friedrich-Ludwig-Jahn-Allee 59